

La gobernanza de las nanotecnologías

*Guillermo Foladori*¹

RESUMEN

Las nanotecnologías constituyen la base de una revolución tecnológica a nivel mundial. La reglamentación está en la mesa de negociaciones de los países desarrollados. En este artículo analizamos las características que hacen a las nanotecnologías disruptivas; señalamos los principales problemas que dan pie a la discusión de su gobernanza y mostramos el abanico de posiciones, muchas de las cuales responden a los intereses económicos de sus voceros. La participación de ONG y sindicatos ha sido clave en el proceso de gobernanza, a pesar de que los actores de esta naturaleza no aparecen en la literatura hegemónica sobre innovación.

PALABRAS CLAVE: Nanotecnología, desarrollo, regulación, innovación, ciencia y tecnología.

ABSTRACT

Nanotechnologies are the basis of a worldwide technological revolution. Their regulation is on the negotiating tables of the developed countries. In this article, the author analyses the characteristics that make nanotechnologies disruptive, pointing to the main problems that give rise to the discussion about their governance and elucidating the array of positions, many of which correspond to the economic interests of their proponents. NGO and union participation has been key in this governance process, despite the fact that these actors are not featured in the mainstream literature about innovation.

KEY WORDS: nanotechnology, development, regulation, innovation, science and technology

¹ Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Correo electrónico: gfoladori@gmail.com;
Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad: www.estudiosdeldesarrollo.net/relans



INTRODUCCIÓN

A UNA DÉCADA DEL LANZAMIENTO de la *National Nanotechnology Initiative* en los Estados Unidos, y de iniciativas semejantes en Europa y muchos otros países, el tema de la reglamentación de las nanotecnologías (NT) sigue básicamente en el papel.

En este artículo mostramos la variedad de posiciones sobre gobernanza en materia de NT. En primer lugar, destacamos las principales características de los productos de las NT que hacen de ellos competidores disruptivos de los productos de consumo actuales. En segundo lugar, mostramos las debilidades de estas tecnologías que se constituyen en el centro de la discusión actual sobre su gobernanza. Destacamos y damos mayor espacio al tema de los riesgos a la salud y el medio ambiente, que de hecho es el principal aspecto en las agendas públicas sobre reglamentación de las NT. En tercer lugar, mostramos en forma resumida el abanico de las posturas sobre gobernanza, clasificadas según la posición socioeconómica de sus voceros. Identificamos los sectores que son más proclives a defender los intereses de los consumidores y trabajadores, y cuáles velan exclusivamente por sus intereses económicos. Esta revisión llama la atención sobre la importancia de considerar a las ONG y sindicatos como agentes de los procesos de innovación, lo cual no es considerado por el pensamiento hegemónico en torno a los sistemas nacionales de innovación, que consideran como agentes al gobierno, la academia y las empresas, exclusivamente.

LAS NANOTECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS

Las NT constituyen la base de una gran revolución tecnológica a nivel mundial. Consisten en una serie de técnicas que se caracterizan por manipular los materiales a escala atómica y molecular. La importancia radica en que la materia, cuando se presenta en tamaño nanométrico, manifiesta propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a las conocidas en tamaños mayores; además, por su gran superficie en relación con la masa, las nanopartículas son altamente reactivas. Aunadas a su diminuto tamaño, las características anteriores hacen que las NT estén llamadas a transformar todos los sectores económicos. A diferencia de revoluciones tecnológicas pasadas, donde la novedad estaba en la fuente de energía, en la maquinaria o se restringían a determinados sectores de la economía, lo que las NT cambian es la forma de manipular la materia, por lo que cualquier sector económico puede beneficiarse.

Ya existe el suficiente conocimiento científico y aplicaciones prácticas como para vislumbrar que las NT serán aplicadas a las más diversas ramas de la actividad económica y en todos los puntos del planeta, casi simultáneamente. Según el Woodrow Wilson International Center for Scholars ya tenían más de mil productos de consumo final en el mercado en 2009; sin considerar los cientos de materias primas compuestas de nanopartículas o nanoestructuras que se aplican como productos intermedios en las más diversas industrias. Sólo el mercado de los nanotubos de carbono, que produce cientos de variedades y son materia prima clave de muchas industrias, está creciendo a una tasa de 25% anual, y se calcula que su tamaño llegará a los dos mil millones de dólares en diez años (*Next Big Future*, 2010). La lista de productos de las NT en el mercado muestra un predominio de los artículos suntuarios, pero se trata de un abanico que abarca una vasta gama de productos de consumo final correspondientes a variados sectores económicos. Y si prestamos atención a las iniciativas nacionales o los programas específicos para NT encontraremos que no sólo los países desarrollados, sino también muchos en desarrollo, están instrumentando acciones en tal sentido. En América Latina, por ejemplo, Brasil y Argentina tienen un programa nacional; México financia una red de investigación nacional; y otros países como Chile, Co-

lombia, Cuba, Venezuela y Uruguay consideran a las NT como un sector estratégico de desarrollo (Foladori e Invernizzi, 2008a).

Ahora bien, ¿dónde reside la fortaleza de las NT? Básicamente en tres cosas. En hacer productos más eficientes, multifuncionales y ahorradores de materia prima. Las NT hacen productos más eficaces que los que hoy en día conocemos. Un motor que no usa aceite y tiene una vida útil más prologada; un tejido que desprende perfume paulatinamente, que no se arruga y que no se ensucia; un vidrio que se autolimpia; un *nanochip* que analiza, inclusive dentro del organismo, biomarcadores en tejidos, en líquidos, en gases, monitoreándolos en tiempo real; una carrocería de automóvil que conserva la memoria de su forma original y, ante un choque, vuelve a recuperarla con toques eléctricos; un envase de frutas y verduras que alarga la vida de su contenido en los estantes de los supermercados, alertando al cliente con colores si se ha malogrado; una crema solar que actúa en las capas más profundas de la piel, protegiendo de la radiación ultravioleta; un captador y almacenamiento de energía solar en la propia pintura de las casas o en los vidrios; filtros de agua simples y transportables que permiten potabilizar prácticamente cualquier reducto de agua, son todos ejemplos que ya existen en el mercado de las NT.

La segunda fortaleza está en la posibilidad de hacer productos multifuncionales. Una pintura para tuberías industriales que conserve el calor interno del líquido o el gas en hasta un 60%, y que al mismo tiempo protege contra la corrosión, cumple la función de protección contra las inclemencias del tiempo y es aislante térmico. Un alimento, como un simple pedazo de pan, que contenga vitaminas que sólo serán disueltas por el organismo si éste las necesita, cumple la función alimenticia y de suplemento vitamínico simultáneamente. Una camisa, un pantalón, que protegen contra las bacterias que pueden surgir en un accidente cumple la función de vestimenta y de primeros auxilios simultáneamente. Una pared que absorbe el impacto de las balas como una goma que se las traga y recupera su forma original funciona como estructura de vivienda y seguridad frente a la violencia, simultáneamente. Un calzado con nanopartículas de plata que evita la infección en enfermos de diabetes son unos zapatos y un medicamento de manera simultánea. Estos productos también están ya en el mercado.

La tercera fortaleza consiste en reducir y sustituir significativamente la cantidad de materia prima en muchas ramas industriales. Y, quién sabe, en mejorar el medio ambiente. Cuando con nanocápsulas se hace llegar a las células u órganos afectados la dosis de fármaco necesario se está evitando un inmenso desperdicio de materia prima, que de otra forma el cuerpo desecha. Una llanta de automóvil con nanopartículas de negro de carbón puede hacerla durar mucho más que los cincuenta o sesenta mil kilómetros de las llantas corrientes, reduciendo el consumo del caucho y sintéticos asociados. La expansión de los libros digitales, que ya están a la venta y en un formato manual, como el *Kindle* de Amazon, y que pueden almacenar miles de páginas, podrá sustituir o reducir el consumo de papel y, consecuentemente, de árboles. Si bien las lámparas de bajo consumo reducen en un 70% la energía necesaria brindando la misma potencia de luz, ya existen de lámparas de laboratorio que con procesos nanotecnológicos generan muchos más watts con el mismo o menor consumo. Si se puede sustituir ventajosamente la lana o el algodón, o el yute, o el lino en la industria textil con fibras que reproduzcan su calidad y durabilidad e inclusive la potencia estaremos evitando tener que producir millones de cabezas de ganado o explotar millones de hectáreas de agricultura. Varios de estos productos ya se han fabricado en el laboratorio y algunos incluso ya se encuentran en el mercado. Si se logra sustituir el sabor y cualidades del café, del té o del cacao, los países exportadores ya no enviarán estos productos a los países ricos para que consuman sus bebidas estimulantes. Si bacterias creadas o adaptadas por medio de bionanotecnología consiguen consumir y reducir los contaminantes minerales en lagos, ríos y mares, estaremos frente a la posibilidad de reutilizar materiales que habían sido desechados por décadas o siglos. Si la NT permite adaptar las plantas industriales para extraer y luego procesar de manera económicamente accesible las micro y nanopartículas de oro y plata que existen depositadas en los jales de las minas, estaremos utilizando materia prima abandonada por siglos por la incapacidad tecnológica y económica precedente. Si robots con nanosensores pueden explorar las mayores profundidades de los océanos captando, procesando y analizando el subsuelo, estaremos en condiciones de explotar nuevos yacimientos minerales. Si brocas de

nanotubos de carbono permiten la perforación de pozos petroleros en suelos profundos y duros, podrán surgir nuevos yacimientos al mercado. Si los filtros de NT permiten de manera barata separar el petróleo de los yacimientos con arena y materias pantanosas, otros países que hoy no son productores de petróleo se convertirán en autosuficientes y cambiará radicalmente la división internacional del trabajo. Si con litio se puede almacenar energía suficiente en baterías con terminales de NT para que los automóviles eléctricos tengan una autonomía equiparable a los de gasolina, y si ello se puede lograr en tamaños de baterías diminutos, como ya ocurre con los teléfonos *BlackBerry* y en los *Ipods*, nuevas y más eficientes materias primas se incorporarán al mercado, mientras que algunas de las viejas serán desplazadas. Algunos países se verán favorecidos y otros perjudicados.

ÁREAS DE CONFLICTO SOBRE LAS NANOTECNOLOGÍAS

Todo cambio tecnológico trae aparejado efectos. En torno de estos efectos existe una discusión sobre cómo deben ser gobernadas las NT; podemos reducir los principales a tres. Primero está el hecho de que la materia trabajada en nanoescala tiene propiedades toxicológicas desconocidas. Segundo, la cuestión de quiénes son los primeros afectados por el efecto tóxico de los nanoproductos. Tercero está el impacto de las NT en la división nacional e internacional del trabajo y sobre el empleo.

Con respecto a la toxicidad de las nanopartículas y nanoestructuras se habla de la posibilidad de utilizar nanotubos de carbono o *buckyballs* de carbono para fijarlos a las células cancerígenas y matarlas una a una y sin efectos colaterales, con lo cual el cáncer se convertiría en una enfermedad plenamente tratable, aunque Poland y sus colaboradores (Poland *et al.*, 2008) descubrieron que los nanotubos de carbono son reconocidos en la cavidad abdominal de los ratones como si fuesen fibras de asbesto o amianto, produciendo cáncer. Takagi *et al.* (2008) y también Chou *et al.* (2008) muestran que los nanotubos de carbono producen mesotelioma y granulomas en ratones. Inclusive protozoarios que ingieren nano-

tubos de carbono se ven limitados en su movilidad, se mueren o apetonan (Ghafari *et al.*, 2008). Roberts y colaboradores (2007) han advertido que cuando los nanotubos de carbono que se envuelven en lípidos para llegar más directa y eficientemente a las células que necesitan los fármacos que portan son digeridos por las pulgas de agua, su tracto digestivo se ve bloqueado y mueren. Además, está el problema de los subproductos de los procesos de fabricación de los nanotubos de carbono. Éstos son producidos a altas temperaturas lo cual, según Plate y otros (2009), genera metano y benceno cuando son fabricados con la técnica de deposición de vapor, que es uno de los métodos más extendidos, ambos gases ambientalmente perjudiciales. Aunque la producción de nanotubos de carbono es aún pequeña, y no todas las técnicas tienen el mismo efecto en los subproductos, el crecimiento de esta nano materia prima ha crecido exponencialmente en los últimos años, más que duplicándose el potencial de producción en menos de ocho años (*Next Big Future*, 2010).

Problemas de toxicología también existen con otros materiales. El dióxido de titanio, que junto con el óxido de zinc es uno de los “caballitos de batalla” de la industria cosmética, ha demostrado dañar las agallas y hacer perder el sentido a los peces, según investigaciones reportadas por Federici y colaboradores (2007). Deng y su equipo (Deng, 2009) analizan cómo las nanopartículas de óxido de zinc matan o dañan células madre en el cerebro de ratones. Y Takeda *et al.* (2009) han mostrado que el dióxido de titanio produce daños intergeneracionales: las nanopartículas que recibe la rata madre atraviesan libremente la barrera madre-feto, ingresan a los embriones y producen una reducción en la producción de espermias en los embriones machos. Y, en esta cuestión de afecciones al material genético, Yang *et al.* (2009) escribían que las nanopartículas de plata pueden interactuar con el material genético modificándolo y afectando la replicabilidad del mismo. Por lo demás, Tinkle y colaboradores escribieron en 2003 sobre la penetración directa en la piel de partículas de mil nanómetros de zinc y dióxido de titanio, es decir, tamaños mucho mayores a las nanopartículas que aparecen en los cosméticos hoy en día (Tinkle *et al.*, 2003). También Sharma *et al.* (2009) reportaron que las nanopartículas de óxido de zinc, ampliamente usadas como bloqueador solar producen, en concentraciones aún menores que las que nor-

malmente se utilizan en los cosméticos, daños en el ADN de las células humanas epidérmicas en que fueron probadas, y además provocan estrés oxidante, que es el responsable de la producción de radicales libres implicados en cáncer de piel.

Se requiere de metodologías nuevas de evaluación y muchas veces de costos y tiempos que se enfrentan a las necesidades del capital de recuperar sus inversiones y reproducir sus ganancias. Como lo escribían Choi *et al.* (2009), refiriéndose al impacto de los costos de la toxicidad en las regulaciones de la NT, y haciendo un estimado para Estados Unidos, se necesitarían entre 250 y 1,200 millones de dólares y de 34 a 53 años para poder evaluar la toxicidad de los nanomateriales que se están utilizando en laboratorio y que ya están en el mercado. Por su parte, Hatice Sengül y colegas reportaban que la huella ecológica de los nanomateriales puede ser mucho más grande que la correspondiente de los materiales de mayor tamaño; y Khanna *et al.* encontraron que los impactos pueden llegar a ser cien veces mayores por unidad de peso que en una dimensión más grande, dados los requerimientos técnicos de producción (*Science Daily*, 2008).

El problema de la toxicidad no se reduce a la salud humana; también afecta al medio ambiente, donde la acumulación de nanopartículas, aunque sean benignas para el ser humano pueden en su concentración, causar estragos en los ecosistemas y en las cadenas tróficas, lo cual obliga a la necesidad de un análisis del ciclo de vida de las nanopartículas y no solamente de su función en cuanto al producto específico que se investiga, como es normalmente exigido a las empresas (Köhler *et al.*, 2008). Algunos estudios han demostrado que las nanopartículas de plata incorporadas a la vestimenta con el propósito de actuar como bactericida o para eliminar el mal olor se desprenden del textil con los lavados y terminan en los drenajes (Geranio *et al.*, 2009). Inclusive el propio sudor desprende las nanopartículas de plata, terminando así en los ecosistemas con efectos imprevisibles en las cadenas tróficas (Kulthong *et al.*, 2010).

En un segundo lugar, sobre los efectos de las NT está la cuestión de quién se verá afectado, en términos de salud, por las mismas. Aquí hay, sin lugar a dudas, un común acuerdo entre los diferentes analistas. La cadena se establece así (Mantovani *et al.*, 2009): los primeros que se enfrentan a riesgos a la salud son aquellos que

sintetizan las nanopartículas y nanoestructuras, esto es, quienes trabajan en los laboratorios que las fabrican. Es una cuestión de salud ocupacional, y los trabajadores pueden recibir en su organismo nanopartículas por inhalación o directamente a través de la piel; inclusive pueden ingresar al organismo por ingestión directa “aunque ello es menos probable”, sea por tragar mucosidades que se forman de la inhalación, lamer heridas u otros accidentes. Lo anterior exige condiciones de seguridad y limpieza extremas en los laboratorios que fabrican estos productos. No estamos frente a materias primas que se puedan manipular en el garaje de la casa, como sucedió en parte con la revolución de la informática.

Luego viene la fabricación de productos de consumo a los cuales se le incorporan nanopartículas o nanoestructuras como materias primas para darle a los productos finales mayores virtudes, funciones, durabilidad u otra característica que ofrezca una ventaja mercantil. Aquí crece significativamente el riesgo ocupacional, tanto porque se trata ahora de miles de trabajadores industriales en las más diversas ramas de la actividad económica, como porque hay una menor experiencia sobre riesgo de intoxicación en estas industrias en relación con las del nivel anterior, que eran básicamente industrias químicas. Existen informes que muestran que las industrias subcontratadas tienen menores resguardos de seguridad frente a riesgos tóxicos. A finales de 2009 se conoció el caso de siete empleadas de una fábrica en China que fueron internadas por problemas respiratorios; dos murieron. Investigaciones mostraron que se habían formado granulomas y fibrosis en los pulmones y tenían nanopartículas de resinas acrílicas (Song *et al.*, 2009); convirtiéndose en el primer caso conocido de muertes por nanopartículas manufacturadas. Aunque posteriormente se discutió si la muerte puede relacionarse exclusivamente con las nanopartículas, el hecho es que no hubo suficiente protección a las trabajadoras en el ambiente de trabajo y que la fábrica incorporaba nanopartículas como materia prima en su proceso industrial.

El tercer nivel lo constituyen los consumidores de productos con nanopartículas. Aquí se trata de la población en su conjunto que, dependiendo del producto, está sujeta a riesgo de intoxicación por la vía de la inhalación, por el contacto directo con la piel o por la ingestión directa. Trouiller *et al.* (2009) alertan sobre el consumo de *sprays* que

contengan nanopartículas de dióxido de titanio, algo muy común en cosméticos, porque han demostrado dañar el ADN en ratones.

Visto este esquema piramidal de riesgo, no resulta sorprendente que las organizaciones ambientalistas y de defensa de los consumidores, junto con los sindicatos y las uniones de sindicatos se hayan manifestado por la moratoria de la comercialización de productos con nanocomponentes hasta que no existan estudios de toxicología adecuados y aplicados a los diferentes productos. Mientras tanto, las asociaciones de industrias, de comercio y los gobiernos a la zaga de las mismas se han manifestado por una mayor investigación, dejando que el mercado camine más rápido que la investigación en riesgos, para garantizar las tasas de retorno que el capital invertido en la investigación y desarrollo de las NT exige.

En tercer lugar, de los efectos de las NT anotamos la cuestión del empleo y la división social del trabajo, tanto a nivel regional como nacional e internacional. El ETC Group, una ONG ambientalista con sede en Canadá estudia, en un documento publicado en 2005, los casos del caucho, el platino y el cobre, mostrando que ya existen procedimientos nanotecnológicos que pueden reducir significativamente el consumo de estas materias primas (ETC Group, 2005). Las llantas de autos, que es el principal mercado del caucho natural, pueden ser mejoradas reduciendo su desgaste con, por ejemplo, *Nanoprene*, un producto de la empresa Lanxess y, consecuentemente, reduciendo el caucho, su materia prima básica. Los nanotubos de carbono pueden llegar a ser fuertes competidores del cobre, reduciendo también su demanda, y el platino puede ser sustituido como catalizador en las baterías. Algo semejante podría suceder con las fibras textiles de origen natural o con bebidas como el café, el té y el cacao. Se trata, en primera instancia, de una cuestión de comercio internacional, de rediseño de la división internacional del trabajo, de cambios en la competitividad internacional. Es, también, un problema de empleo, de fuentes de trabajo que se reducirán y otras que se abrirán, pero las nuevas ramas de alta tecnología, como es el caso de las NT, emplean poca fuerza de trabajo, y sus efectos podrán ser devastadores para muchas sociedades y países en términos del incremento en el número de desempleados.

Sarma y Chaudhury (2009) analizan los impactos que los nanotubos de carbono podrían causar a la economía chilena. Entre

otras utilidades, los nanotubos de carbono son sustitutos de los cables de cobre por ser superconductores, flexibles y ocupar un espacio menor. Un 37% de las exportaciones chilenas (datos de 2006) provienen de la venta de cobre, y 21% de esas exportaciones están dirigidas a China (Sarma y Chaudhury, 2009), pero el gigante asiático tiene, al menos, dos inmensas fábricas de producción de hilos de nanotubos de carbono de segunda generación a altas temperaturas, que son las alternativas para los cables de cobre para la industria de los semiconductores, de manera que existe el potencial de sustitución de parte de las importaciones chilenas.

Invernizzi y Foladori (2010) identifican, a partir de dos bases de datos de productos de las NT en el mercado, cuatro características que impactan el empleo. Ellas son: *a)* los productos son más eficientes; *b)* los productos son multifuncionales; *c)* los productos requieren de menos o de diferentes materias primas; y *d)* los productos tienen una vida en el mercado más prolongada. Para cualquiera de estas características de los productos, la nueva producción implica menores empleos que aquella producción que tiende a suplantarse, con la previsible tendencia a incrementar las tasas de desocupación.

GOBERNANZA DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

Llamamos gobernanza a los procesos y declaraciones de empresas, instituciones u organizaciones que influyen en la discusión sobre la reglamentación de las NT, restringiendo el término reglamentación para las leyes y decretos que tienen carácter legal. La gobernanza incluye las reglamentaciones, pero es mucho más amplia. La declaración por parte de una asociación de industrias acerca de la necesidad de etiquetar los productos que contienen nanopartículas es, por ejemplo, parte de la gobernanza. También lo es la declaración de una ONG con impacto social que se refiere a la necesidad de que los países puedan decidir si importan o prohíben la importación de productos con nanocomponentes o de nanomaterias primas. Inclusive algunas medidas privadas son parte de la gobernanza en tanto moldean la discusión, como es el caso de la exclusión de cierto tipo de nanopartículas o nanoestructuras de la cobertura

de una compañía de seguros. Por otra parte, la reglamentación se da, por ejemplo, cuando la ciudad de Berkeley en California establece un mandato para que las empresas que trabajen con NT reporten las características de sus procesos y productos.

Las investigaciones sobre las propiedades de los materiales en tamaño nano se remontan por lo menos a los años setenta. En Rusia (la ex Unión de Repúblicas Socialistas Sociéticas) se publicó el primer artículo científico sobre el comportamiento de los materiales nanoestructurados en 1976. El plan chino decenal “Climbing Project on Nanometer Science” fue lanzado en 1990. Desde los años ochenta Japón tenía proyectos de investigación y desarrollo sobre partículas ultrafinas; y desde fines de esa década el Reino Unido financiaba una red de investigación y desarrollo en NT. A nivel privado, las grandes corporaciones de la industria química y electrónica (por ejemplo, Dow, Du Pont, Bayer, Basf, Motorola, Kodak, Hewlett Packard, Texas Instruments, IBM, Xerox) tenían laboratorios de investigación en NT desde los años ochenta y noventa (Roco, 2003).

A partir de este siglo XXI, y con el lanzamiento de la National Nanotechnology Initiative (NNI) en Estados Unidos en el año 2000, las NT entran en las políticas públicas de ciencia y tecnología (C&T) de manera generalizada y con importante jerarquía. La NNI fue lanzada con quinientos millones de dólares para su primer año, 2001, y muchos otros países siguieron sus pasos estableciendo programas nacionales de NT.

Diez años después, la reglamentación sigue en la mesa de negociaciones, y se escuchan declaraciones de reclamo inclusive de sectores empresariales. En el último encuentro de la Nano Renewable Energy,² de expertos científicos y empresariales en energías renovables, realizado en Denver, Colorado, en mayo de 2010, Hussey, el director ejecutivo de la empresa NanoInk, señaló: “No hay ni buenos ni bien controlados estudios que prueben que los nanomateriales son seguros [...]. Necesitamos liderar al mundo en exámenes

² El Nano Renewable Energy Summit reúne a expertos en la intersección de la energía solar con las nanotecnologías, enfocados en negocios, comercialización y desarrollo económicos del potencial de las tecnologías emergentes en energía renovable y sectores de sustentabilidad. Los socios y patrocinadores incluyen a la Nano Business Alliance, la Colorado Nanotechnology Alliance, el National Renewable Energy Laboratory (NREL), la Colorado Office of Economic Development and International Trade, la University of Denver, en Deloitte, y la New York Nano Business Alliance.

de seguridad a la salud y el medio ambiente. O bien nos ponemos a la vanguardia o nos revolcarán como industria” (citado por Motavalli, 2010).

La cita anterior no es la única. El Foro Mundial Global emitió el documento *Riesgos globales 2010*, donde señalaba la toxicidad de las nanopartículas como uno de ellos (World Economic Forum, 2010). Ahora bien, éstas son declaraciones de voceros de las grandes corporaciones en 2010, luego de una década en la cual el capital hacía oídos sordos a los reclamos de las organizaciones sociales y los gobiernos sostenían la posición de que los viejos criterios de evaluación de toxicidad eran válidos para los nuevos riesgos.

A partir de una vasta recopilación de proposiciones o propuestas sobre gobernanza de las NT, que agrupa a diferentes sectores sociales y se ordena cronológicamente, identificamos las principales proposiciones. Estas propuestas de gobernanza van desde declaraciones públicas por parte de instituciones u organismos influyentes hasta reglamentaciones de países, y se abarca el periodo 2001-2009, consolidándose más de ochenta propuestas. Los actores son: gobiernos nacionales o sus agencias específicas de protección al medio ambiente y de toxicología, entre otros, así como los “gobiernos internacionales”, entendiéndose bajo este rubro la Unión Europea, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y algunas instituciones de las Naciones Unidas; también los gobiernos regionales o municipales. Luego está la clase capitalista, agrupada según sean sus declaraciones, en alianzas generales de empresarios, o sectores específicos como el capital industrial, el capital comercial y el capital financiero, este último subdividido a su vez en financiero ligado al crédito y la bolsa y las empresas de seguros. Otro grupo lo constituyen las ONG, y los sindicatos y, uniones de sindicatos. También existen asociaciones público-privadas, asociaciones privadas-ONG, asociaciones académicas, y otras que combinan academia, empresa y gobierno.

Una gran conclusión surge del ordenamiento cronológico de las proposiciones: aunque las investigaciones y el desarrollo de las NT comienzan en los años ochenta en forma significativa, y para los noventa ya existe comercialización de nanopartículas y nanoestructuras como materias primas de otras industrias y algunos productos aparecen en el mercado, los primeros llamados a analizar la

toxicidad de los nanomateriales para la salud humana y el medio ambiente, antes de que los productos entren al mercado, no provinieron de esos centros de investigación que las fabricaban, ni de asociaciones de académicos, ni de las empresas que producían o usaban nanomateriales, sino de las organizaciones no gubernamentales (ONG).

En 2002, durante el World Summit on Sustainable Development realizado en Sudáfrica, el ETC Group denunció la investigación y comercialización de nanomateriales sin los efectivos controles de toxicidad, y propuso la moratoria del uso de nanopartículas y su comercialización hasta en tanto no hubiera lineamientos claros de utilización, al tiempo que llamaba a una convención internacional que evaluara estos riesgos y temática (ETC Group, 2002a y 2002b). Durante los primeros siete años del siglo XXI varios documentos clave, que recibieron cobertura por la prensa internacional, fueron decisivos para presionar a los gobiernos a comenzar a discutir la reglamentación de las NT. Sólo después de estas manifestaciones algunos gobiernos, principalmente los de Estados Unidos y la Unión Europea, colocaron en la agenda política los riesgos de las NT. Más específicamente, hasta finales de 2007 la posición mayoritaria de los gobiernos era que los nanomateriales podían ser correctamente evaluados en su toxicidad por las reglamentaciones existentes para estos materiales, a pesar de que todos reconocían que los materiales en escala nano desarrollan propiedades nuevas y desconocidas. Dentro de las asociaciones académicas, una excepción lo fueron The Royal Society y The Royal Academy of Engineering. Esta última organización académica inglesa emitió en 2004 un documento que es, hasta hoy, un hito en la discusión, ya que por su posición “neutral” dicha institución fue escuchada por todos los sectores y coincidía con los llamados del ETC Group y otras ONG en advertir que las NT implican riesgos desconocidos que deben ser estudiados y evaluados a la brevedad. Sumado a los varios documentos producidos por el ETC Group a partir de 2002, la ONG ambientalista Friends of Earth, de Australia, publica en 2006 un documento sobre la toxicidad de los cosméticos, alertando acerca de la amplia participación que las NT tenían en el ramo y sobre su presencia en prácticamente todas las principales marcas mundiales (Friends of Earth-Australia, 2006). 2007 es un año clave y punto de inflexión en el tema de la toxicología en las NT. En marzo, el

Congreso Mundial de la UTTA (Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agricultura y Afines), una unión de sindicatos con más de doce millones de miembros en cientos de organizaciones en todo el mundo, emite una declaración donde alerta sobre los riesgos de las NT en el sector de la agricultura y la alimentación y sobre la falta de controles y reglamentación, con el consecuente potencial impacto sobre los trabajadores (UTTA, 2007; Foladori e Invernizzi, 2008b). El reclamo sobre los potenciales riesgos en el sector de alimentos y agricultura sería reforzado con la publicación, en 2008, por parte nuevamente de Friends of Earth-Australia (2008) de un documento clave para conocer el avance de la investigación y comercialización de NT en el sector y su relación con las grandes corporaciones (Miller y Senjen, 2008). En julio de 2007 una coalición que reúne decenas de ONG, sindicatos y otras organizaciones en todo el mundo publica “Broad International Coalition Issues Principles for Strong Oversight of Nanotechnology”, un documento que indica lo que una reglamentación responsable debe tomar en consideración (Kimbrell, 2007). En el mismo mes, la Central Europea de Trabajadores emite una declaración exigiendo la reglamentación de las NT y alertando acerca de los riesgos para los trabajadores (ETUC, 2008).

Los casos anteriores son hitos en la cronología de propuestas y manifestaciones sobre el control de las NT. En tanto las ONG y los sindicatos levantaban su voz por mayor reglamentación y seguridad, los productos de las NT seguían ingresando de manera creciente en el mercado, las empresas se pronunciaban por códigos voluntarios de conducta y los gobiernos insistían en que las viejas reglamentaciones eran suficientes. Algunas corporaciones se adelantaron en elaborar códigos voluntarios de conducta, como lo hicieron Basf en 2004 y Bayer en 2007 (Bayer, 2007; Basf, 2008), y algunos gobiernos llamaban a la industria a dar reportes voluntarios sobre sus investigaciones y producción en NT. El Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), del Reino Unido, lo hizo desde mediados del 2006 (DEFRA, 2008), y la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos un año después (EPA, 2007).

El seguimiento cronológico de las propuestas sobre gobernanza de las NT, al mismo tiempo que muestra el papel decisivo que tuvieron las ONG y sindicatos en modificar el rumbo de dicha gobernanza

za, para que de códigos voluntarios y regulaciones basadas en legislación vieja se cambiara a regulaciones nuevas, también muestra la ausencia de aquellos actores en la literatura sobre innovación y desarrollo. Esta literatura, de base teórica neoshumpeteriana e institucionalista en economía, identifica como los actores de los procesos de innovación a los gobiernos, la academia y la industria, lo que se ha dado en llamar la “triple hélice” (Leydesdorff y Etzkowitz, 2001); y los consumidores, cuando aparecen, sólo lo hacen para ofrecer su opinión en cuanto a gustos del mercado, mientras que los trabajadores sólo intervienen en relación directa con el conocimiento tácito que puedan aportar.³ La experiencia de las NT muestra que tanto las ONG como los sindicatos son un actor clave en los procesos de innovación, y deben por tanto ser llamados a las mesas de negociación y regulación.

Una vez analizado el orden cronológico de las propuestas de gobernanza pasamos a la distribución de las posiciones entre los sectores. La conclusión a destacar, en este caso, es que la clase capitalista no es homogénea en cuanto a sus posturas: está dividida en fracciones que obedecen al lugar que ocupan en la estructura productiva. Y de acuerdo con ese lugar la fuente de la ganancia cambia y los intereses políticos por la regulación también. Así, no es de sorprender que voceros del mundo de las finanzas, que es el capital especulativo por excelencia, por ejemplo en el caso de *Forbes*, se pronuncien por la no regulación de las NT (Wolfe, 2005), y utilicen como ejemplo de éxito de un mercado desregulado el caso de la revolución de Internet. Se trata de una posición acorde con sus intereses. Al capital financiero le vienen bien las alzas y bajas en la bolsa de valores, ya que de ellas obtiene sus beneficios, algo que ocurre con mayor frecuencia cuando no hay ningún tipo de regulación.

Esta posición por la no regulación es prácticamente exclusiva de la fracción financiera. Los industriales que producen nanomaterias primas para la industria, por ejemplo nanotubos de carbono, *buckyballs*, nanopartículas de hierro, nanopartículas de plata, entre otras, están preocupados por la calidad de sus productos. Como

³ Como resultado del papel de las ONG en la regulación de los organismos genéticamente modificados, algunos autores las colocan como un actor clave en relación con la innovación (*v. gr.*, Peláez, 2004), pero esta posición continúa siendo excepcional y no parte del discurso hegemónico sobre innovación.

estos productos son difíciles de producir en gran escala y de forma homogénea, las empresas corren el riesgo de recibir materia prima que no siempre garantice el cumplimiento de la misma función en los productos finales, con el consecuente reclamo por parte del consumidor. Las empresas quieren la certificación de sus productos, desean que existan nomenclaturas, clasificaciones y certificaciones, y el resultado, aunque parcial, ha sido el reconocimiento por parte del sistema ISO con la clasificación TC 229 para las NT (ISO, 2005), o de la American Society for Testing and Materials (ASTM), con la clasificación E2456-06 (ASTM, 2006).

Otra es la situación de las industrias que producen artículos de consumo final, muchas veces incorporando nanomaterias primas a sus procesos productivos. Estas industrias están claramente a favor de los códigos voluntarios, ya que una reglamentación significaría un mayor gasto y transferencia de información que muchas veces ni conocen (quienes utilizan nanomaterias primas no siempre saben las propiedades toxicológicas de ellas), no pueden medir o no están dispuestos a divulgar. Por ello, este sector insiste con los códigos de conducta voluntarios, que son declaraciones de principios, de responsabilidad y de buena conducta, procurando convencer al gobierno y al consumidor de que debe bastar la buena palabra de las empresas para que el producto ingrese al mercado. Así, Rusnano, una corporación rusa de NT, ha sacado un “Nanocertificado” para sus empresas asociadas (Rusnano, 2008). También han producido códigos voluntarios de conducta las empresas Bayer (2007) y Basf (2004); la Unión Europea (Commission of the European Communities, 2008), y muchas otras.

Ahora bien, las declaraciones de buenas intenciones, como lo son los códigos de conducta voluntarios, suponen la confianza en quien las emite. Esta confianza en las empresas no la tienen ni los gobiernos ni el capital comercial al menudeo. Los dos organismos gubernamentales que realizaron solicitudes de informes sobre uso de NT a las industrias fueron el británico Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA, 2006) y el estadounidense (EPA, 2007); ambos reconocieron meses después que sólo un puñado de industrias brindó la información necesaria, mientras que la gran mayoría no colaboró. Por su parte, las asociaciones de supermercados de Suiza, agrupadas en The Swiss Retailer’s Organisa-

tion & Innovation Society, denunciaron en 2008 que las empresas no etiquetan sus productos que contienen nanocomponentes; no alertan sobre qué tipo de nanopartículas tienen ni sobre los potenciales riesgos para la salud y el medio ambiente, evadiendo la responsabilidad sobre potenciales consecuencias (Swiss Retailer's Organisation & Innovation Society, 2008). Por otra parte, The Investor Environmental Health Network (IEHN, 2008), que es una institución europea que se encarga de orientar ecológicamente la política de las corporaciones, publicó un documento en 2008 cuyo título da una idea de lo que trata: *El síndrome de las acciones tóxicas. Cómo los reportes financieros de las corporaciones evitan informar a los inversores de los riesgos de la retirada de productos del mercado y de los pleitos por toxicidad*. Resulta obvio que si los gobiernos y otras fracciones del capital no confían en la industria, los consumidores y los trabajadores no tendrían por qué hacerlo.

Un caso diferente es el del capital financiero de seguros. Ellos necesitan las reglas del juego del gobierno, o sea la reglamentación de las NT, para poder asegurar productos y procesos. En su ausencia, la Continental Western retiró sus seguros a todas aquellas empresas que procesen o utilicen nanotubos de carbono. Por su parte, la Lexington Insurance Chartis se aprovechó de la situación para abrir una línea de seguros exclusiva para NT, esperando llenar un vacío que dejan otras aseguradoras (Lexington Insurance Chartis, 2010).

Mientras estas contradicciones se presentan al interior de la clase capitalista, las esferas gubernamentales van reaccionando a las demandas de los diferentes sectores lentamente, esperando que el mercado camine más rápido y obligue a reglamentar con las restricciones que un mercado en curso imponga. Aunque algunos gobiernos locales tomaron la delantera en requerir información detallada de los procesos con NT: a fines de enero del 2009, el estado de California, en los Estados Unidos, que siempre ha sido pionero en legislación ambiental, emitió una reglamentación para que todas las empresas que producen o importan nanotubos de carbono deban informar los métodos que utilizan para evaluar el riesgo y la seguridad laboral (California Department of Toxic Substances Control, 2009). Tres años antes, en 2006, la ciudad de Berkeley había exigido el envío de información sobre manipulación y ries-

gos en nanomateriales por parte de las industrias que los utilicen (City of Berkeley, 2006). Ello fue seguido por la ciudad de Cambridge, en Massachussets, que desde 2008 exige reportes obligatorios sobre las empresas que manipulan nanomateriales así como evaluaciones de riesgo (Cambridge Public Health Department, 2008).

Para comienzos de 2009 aparecen signos de que algo se va a reglamentar en materia de NT. Un comité del Parlamento Europeo –sin poder legislativo– sorprende positivamente a los consumidores con tres reportes sucesivos. Uno llamando al retiro del mercado para el año 2012 de todos los cosméticos que contengan nanopartículas y no hayan presentado evaluaciones de riesgo a la salud, al tiempo que les exigen etiquetar los productos señalando qué contienen, de acuerdo con información de Associated Press. Aunque se trata de la posición de un comité, y no de una reglamentación que debe aplicarse, una intención de freno tan contundente a las poderosas compañías farmacéuticas y de cosméticos sólo puede explicarse a partir de los años inmediatamente anteriores. Efectivamente, durante 2004 a 2006 varias transnacionales de la cosmética comenzaron a publicitar la mayor eficiencia de sus productos basados en NT, pero luego del informe de Friends of Earth-Australia en 2006, donde se presentaba la amplia lista de compañías y productos en el mercado y los potenciales riesgos, la publicidad e información desapareció de las páginas electrónicas de dichas compañías, lo cual no pasó inadvertido por periodistas especialistas en NT y fue criticado por las organizaciones ambientalistas.

También en marzo de 2009 un comité del Parlamento Europeo sugería el retiro del mercado de todos los productos de *nano-food*, es decir, alimentos que contengan o estén en contacto con productos o procesos de la NT, hasta en tanto no se demuestre haber realizado estudios de riesgo y sean etiquetados (European Parliament, 2009). Ese mismo mes, bajo el título periodístico de “No Data No Market”, el Comité promueve la retirada de todos los productos de la NT del mercado, con el argumento de que no han pasado por los exámenes de toxicidad a la salud y el medio ambiente necesarios para ser comercializados y consumidos (EurActive, 2009). Estas iniciativas difícilmente van a ser aprobadas de la forma en que se han presentado por los órganos legislativos, pero el impacto que están teniendo y tendrán en los diversos actores de la sociedad que se han

manifestado en torno a los temas de reglamentación, en los capitales que invierten en la investigación de las NT y en los órganos gubernamentales, locales, regionales o nacionales, y supranacionales que deben legislar y regular sobre NT, augura una situación de difícil pronóstico.

CONCLUSIONES

El desarrollo de las NT representa un laboratorio en marcha acerca de la participación de los diferentes sectores de la sociedad en el rumbo que va tomando una nueva revolución tecnológica. La peculiaridad de las NT es que, por tratarse de una nueva manera de manipular la materia; se accede a propiedades de la misma que no se presentan en dimensiones mayores. Ello significa que las NT pueden aplicarse revolucionando a cualquier y a todos los sectores económicos. A diferencia de las revoluciones tecnológicas anteriores, donde el cambio estaba centrado en la fuente de energía, en la maquinaria o en determinados sectores económicos, aquí estamos frente a una revolución tecnológica que no es sectorial, y que por el grado de integración del mercado mundial de hoy en día tendrá un impacto prácticamente simultáneo en todo el mundo.

Son muchas las promesas de las NT, destacando la producción de artículos más eficientes, multifuncionales y con una vida útil más prolongada. Además, en muchos casos se podría decir que se tratará de industrias limpias, algo que en el contexto actual de crisis ambiental resulta una cuestión de importancia.

Hay, sin embargo, una serie de problemas e incertidumbres. El que más ha llamado la atención y sobre el cual se centran prácticamente todos los esfuerzos de gobernanza es el de los potenciales, y en gran medida demostrados, riesgos a la salud y el medio ambiente de las nanopartículas y nanoestructuras. Aunado a estos riesgos está la cuestión de la dificultad para evaluar la toxicidad de productos cuyos efectos no devienen solamente del tipo de material y el tamaño, sino en los que también incide en la forma, la solubilidad y otras características. Sin embargo, las dudas e ignorancia sobre los riesgos no han impedido que la industria lance masivamente sus productos al mercado, de manera que hoy en día no es

difícil encontrar en los anaqueles de los supermercados decenas de productos de la NT provenientes de las industrias más diversas. Desde carrocías de automóviles, pasando por textiles, industria mecánica, cosméticos, alimentos, artículos de computación y comunicación, e insumos de la industria de la construcción, por sólo señalar algunos.

Declaraciones y propuestas respecto de si deben ser o no reguladas las NT, sobre cómo hacerlo, sobre si los códigos voluntarios son suficientes y muchas otras cosas se engloban bajo el término de “gobernanza”. Estas declaraciones y propuestas son de lo más variadas. Sin embargo, es claro que mientras los diferentes sectores de la clase capitalista realizan propuestas directamente relacionadas con sus intereses económicos, los sectores sociales como las ONG y los sindicatos se preocupan por los efectos de los nanomateriales en la salud humana y el medio ambiente, y otros plantean los problemas que esta revolución tecnológica ocasionará en la división internacional del trabajo y en el empleo. Por su parte, los gobiernos han permanecido esquivos durante gran parte de la década, pero ante la generalización de las demandas de información, reglamentación y seguridad de las organizaciones sociales de los países más desarrollados han asumido la necesidad de reglamentar las NT, y básicamente desde principios de 2009 han comenzado a trabajar arduamente en el asunto.

Desde el punto de vista de la teoría sociológica es interesante mostrar que las ONG y los sindicatos han jugado un papel central en la reorientación del curso de la gobernanza de las NT, y aunque ello parezca obvio, el hecho es que estos actores están ausentes del discurso de la teoría de la innovación, que está instalada en las políticas de ciencia y tecnología de prácticamente todos los gobiernos.

BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials

- 2006 “ASTM E2456-06 Standard Terminology Relating to Nanotechnology”, en www.astm.org/Standards/E2456.htm; consultado el 9 de julio de 2008.

Basf

- 2004 “Code of Conduct on Nanotechnology”, en www.basf.com/group/corporate/en/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/code-of-conduct; consultado el 21 de marzo de 2009.

Bayer

- 2007 “Bayer Position on Nanotechnology”, en www.sustainability2007.bayer.com//Bayer-Position-on-Nanotechnology.pdf; consultado el 20 de agosto de 2008.

California Department of Toxic Substances Control (DTSC)

- 2009 “Chemical Information Call-in: Carbon Nanotubes”, en www.dtsc.ca.gov/TechnologyDevelopment/Nanotechnology/index.cfm#Chemical_Information_Call-in:_Carbon_Nanotubes; consultado el 3 de marzo.

Cambridge Public Health Department

- 2008 “Recommendations for a Municipal Health & Safety Policy for Nanomaterials. A Report to the Cambridge City Manager”, en www.loe.org/images/080801/NanoRecommendations.pdf; consultado el 11 de agosto de 2008.

Choi, J. Y., G. Ramachandran y M. Kandlikar

- 2009 “The Impact of Toxicity Testing Costs on Nanomaterial Regulations”, *Environmental Science and Technology*. 20 de febrero (SN, SV).

Chou, Cheng-Chung, Hsiang-Yun Hsiao, Qi-Sheng Hong, Chun-Hou Chen, Ya-Wen Peng, Hwei-Wen Chen y Pan-Chyr Yang

- 2008 “Single-Walled Carbon Nanotubes Can Induce Pulmonary Injury in Mouse Model”, *Nano Lett*, vol. 8, núm. 2, pp. 437-445.

City of Berkeley

- 2006 “Manufactured Nanoparticle Health and Safety Disclosure”, en www.ci.berkeley.ca.us/citycouncil/2006citycouncil/packet/120506/2006-12-05%20Item%20

13%20Manufactured%20Nanoparticle%20Health%20and%20Safety%20Disclosure.pdf; consultado el 15 de marzo de 2008.

Commission of the European Communities

2008 “On a Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies Research. Commission Recommendation of 07/02/2008”, Bruselas.

Continental Western Insurance Group

2008 Nanotubes and Nanotechnology Exclusion [Policy cw 33 69-06-08].

(DEFRA) Department of Environment,

Food and Rural Affairs United Kingdom

2008 “The UK Voluntary Reporting Scheme for Engineered Nanoscale Materials”, en www.defra.gov.uk/environment/nanotech/pdf/vrs-5.pdf, Reino Unido, consultada el 3 de mayo de 2008.

Deng, Xiaoyong; Oixia Luan, Wenting Chen, Yanli Wang,

Minghong Wu, Haijiao Zhang y Jiao Zheng

2009 “Nanosized Zinc Oxide Particles Induce Neural Stem Cell Apoptosis”, *Nanotechnology*, núm. 20, 115101.

(EPA) Environmental Protection Agency

2007 “Nanoscale Program Approach for Comment”, en www.epa.gov/oppt/nano/nmspfr.htm, Estados Unidos, consultado el 15 de marzo de 2008.

ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration)

2005 “The Potential Impacts of Nano-scale Technologies on Commodity Markets: The Implications for Commodity Dependent Developing Countries”, *South Centre Trade Research Papers*, núm. 4, en www.southcentre.org/publications/researchpapers/ResearchPapers4.pdf; consultado el 9 de junio de 2006.

2002a “Patenting Elements of Nature”, 25 de marzo, www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/220; consultado el 4 de julio de 2008.

2002b “No Small Matter! Nanotech Particles Penetrate Living Cells and Accumulate in Animal Organs”, *Communi-qué*, núm. 76, mayo-junio, en <http://www.etcgroup.org>.

org/upload/publication/pdf_file/192; consultado el 22 de marzo de 2008.

ETUC (European Trade Union Confederation)

2008 “ETUC Resolution on Nanotechnology and Nanomaterials”, en www.etuc.org/IMG/pdf_ETUC_resolution_on_nano_-_EN_-_25_Junio_08.pdf; consultado el 26 de junio de 2008.

EurActive

2009 “No Data, No Market for Nanotechnologies, MEPS say”, *News*, 2 de abril de 2009, en www.euractiv.com/en/science/data-market-nanotechnologies-meps/article-180893; consultado el 2 de abril de 2009.

European Parliament

2009 “Novel Foods, MEPS Set New Rules”, en www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/067-52498-082-03-13-911-20090324IPR52497-23-03-2009-2009-false/default_en.htm; consultado el 25 de marzo de 2009.

Federici, Gillian, Benjamin J. Shaw y Richard D. Handy

2007 “Toxicity of Titanium Dioxide Nanoparticles to Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill Injury, Oxidative Stress, and Other Physiological Effects”, *Aquatic Toxicology*, vol. 84, núm. 4, pp. 415-430.

Foladori, Guillermo y Noela Invernizzi

2008a *Las nanotecnologías en América Latina*, Miguel Ángel Porrúa, México D. F.

2008b “The Workers Push to Democratize Nanotechnology”, en Erik Fisher, Cynthia Selin y Jameson M. Wetmore (eds.), *The Yearbook of Nanotechnology in Society*, vol. 1, “Presenting Futures”, Springer, Nueva York.

Friends of Earth-Australia

2006 *Nanomaterials, Sun-screens and Cosmetics: Small Ingredients, Big Risks*, en <http://nano.foe.org.au/node/125>; consultada el 20 de marzo de 2008.

Geranio, L., M. Heuberger y B. Nowack

2009 “The Behavior of Silver Nanotextiles During Washing”, *Environmental Science and Technology*, vol. 43, núm. 21, pp. 8113-8118.

Ghafari, P., Christine H. St-Denis, Mary E. Power, Xu Jin, Veronica Tsou, Himadri S. Mandal, Niels C. Bols y Xiaowu (Shirley) Tang
2008 “Impact of Carbon Nanotubes on the Ingestion and Digestion of Bacteria by Ciliated Protozoa”, *Nature Nanotechnology*, publicación en línea, 11 de mayo de 2008, (doi: 10.1038/nnano.2008.109).

IEHN (The Investor Environmental Health Network)

2008 “Toxic Stock Syndrome: How Corporate Financial Reports Fail to Apprise Investors of the Risks of Product Recalls and Toxic Liabilities”, The Investor Environmental Health Network, (Sanford Lewis, Richard Liroff, Margaret Byrne, Mary S. Booth, Bill Baue), en <http://iehn.org/documents/IEHN%20Toxic%20Stock%20Report%203-08.pdf>; consultado el 3 de mayo de 2008.

Invernizzi, N. y G. Foladori

2010 “Nanotechnology Implications for Labor”, *Nanotechnology Law & Business*, vol. 7, núm. 1, pp. 68-78.

ISO (International Organization for Standardization)

2005 *TC 229 Nanotechnologies*, en www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983; consultado el 9 de julio de 2008.

Kimbrell, George

2007 “Broad International Coalition Issues Principles for Strong Oversight of Nanotechnology”, en www.icta.org/press/release.cfm?news_id=26; consultado el 20 de marzo de 2008.

Köhler, A., C. Som, A. Helland y F. Gottschalk

2008 “Studying the Potential Release of Carbon Nanotubes Throughout the Application Life Cycle”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, núm. 8-9, pp. 927-937.

Kulthong, K., S. Srisung, K. Boonpavanitchakul, W. Kangwansupamonkon, y R. Maniratanachote

2010 “Determination of Silver Nanoparticle Release from Antibacterial Fabrics into Artificial Sweat”, *Particle Fibre Toxicology*, vol. 7, núm. 1, p. 8.

Lexington Insurance Chartis

2010 “LexNanoShield”, en www.lexingtoninsurance.com/documents/lexHSLexNanoShield.pdf, consultado el 3 de mayo de 2010.

Leydesdorff, L. y H. Etzkowitz

2001 “The Transformation of University-Industry-Government Relations”, *Electronic Journal of Sociology*, en www.sociology.org

Mantovani, Elvio, Andrea Porcari, Christoph Meili, Markus Widmer

2009 “Mapping Study on Regulation and Governance of Nanotechnologies”, en varios autores, *Framing Nano Project: A Multistakeholder Dialogue Platform Framing the Responsible Development of Nanosciences & Nanotechnologies*, enero, AIRI/Nanotec IT-The Innovation Society, en www.framingnano.eu

Miller, Georgia y Rye Senjen

2008 “Out of the Laboratory and Into the Food Chain: Nanotechnology in Food and Agriculture”, Friends of Earth-Australia, en <http://nano.foe.org.au/node/220>; consultado el 21 de marzo de 2008.

Motavalli, Jim

2010 “Wanted: Nano-Cops”, *The New Haven Independent*, 1 de junio, en http://newhavenindependent.org/index.php/archives/entry/wanted_nanocops/id_26623; consultado el 3 de junio de 2010

Next Big Future

2010 “Carbon Nanotubes Factories”, en <http://nextbigfuture.com/2010/02/carbon-nanotube-factories.html>

Peláez, Víctor

2004 “Biopoder & regulação da tecnologia: o caráter normativo da análise de risco dos OGMs”, *Ambiente & Sociedade*, vol. 7, núm. 2, Campinas, Sao Paolo.

Plate, D. L., A. J. Hart, C. M. Reddy y P. M. Gschewend

2009 “Early Evaluation of Potential Environmental Impacts of Carbon Nanotube Synthesis by Chemical Vapour Deposition”, *Environmental Science and Technology*, vol. 43, núm. 21, pp. 8367-8373.

- Poland, C. A., R. Duffin, I. Kinloch, A. Mayonard, W. A. H. Wallace, A. Seaton, V. Stone, S. Brown, W. MacNee y K. Donaldson
2008 “Carbon Nanotubes Introduced into the Abdominal Cavity of Mice Show Asbestos-like Pathogenicity in a Pilot Study”, en *Nature Nanotechnology*, publicación en línea, 18 de mayo (DOI:10.1038/nnano.2008.111).
- ROBERTS, AARON P., ANDREW S. MOUNT, BRANDON SEDA, JUSTIN SOUTHER, RUI QIAO, SIJIE LIN, PU CHUN KE, APPARAO M. RAO Y STEPHEN J. KLAINE
2007 “In Vivo Biomodification of Lipid-Coated Carbon Nanotubes by *Daphnia magna*”, *Environmental Science and Technology*, vol. 41, núm. 8, pp. 3025–3029.
- Roco, M. C.
2003 “Broader Societal Issues of Nanotechnology”, *Journal of Nanoparticle Research*, núm. 5, pp. 181-189.
- ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION
2008 *Novel Materials in the Environment. The Case of Nanotechnology*, noviembre, **The Stationery Office, Londres**, en www.rcep.org.uk/novel%20materials/Novel%20Materials%20report.pdf; consultado el 1 de marzo de 2009.
- Royal Society and Royal Academy of Engineering (rs&rae)
2004 *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties* (documento de políticas), 20 de abril, The Royal Society and The Royal Academy of Engineering, Londres, en www.nanotec.org.uk/finalReport.htm; consultado el 27 de julio de 2006.
- Rusnano (Russian Corporation of Nanotechnology)
2008 “Certification”, en <http://en.rusnano.com/Rubric.aspx?RubricId=412>; consultado el 28 de octubre de 2008.
- Sarma, Shilpanjali Deshpande y Saswata Chaudhury
2009 “Socio-economic Implications of Nanotechnology Applications. A Case of Copper and Cooper Dependent Countries”, *Nanotechnology Law & Business*, vol. 6, núm. 2, pp. 278-310.

Science Daily

- 2008 “Nanomaterials May Have Large Environmental Footprint”, *Science Daily*, 23 de octubre, en www.sciencedaily.com/releases/2008/10/081022135805.htm, consultado el 9 de diciembre de 2008.
- Sharma, V., R. K., Shukla, N. Saxena *et al.*
2009 “DNA Damaging Potential of Zinc Oxide Nanoparticles in Human Epidermal Cells”, *Toxicology Letters* (doi: 10.1016/j.toxlet.2009.01.008).
- Song, Y., X. Li, y X. Du
2009 “Exposure to Nanoparticles is Related to Pleural Effusion, Pulmonary Fibrosis and Granuloma”, *European Respiratory Journal*, núm. 34, pp. 559-567.
- Swiss Retailer’s Organisation & Innovation Society, The
2008 “Code of Conduct”, en http://www.innovationsgesellschaft.ch/media/archive2/publikationen/Factsheet_CoC_engl.pdf; consultado el 24 de abril de 2008.
- Takagi, A., A. Hirose, T. Nishimura, N. Fukumori,
A. Ogata, N. Ohashi, S. Kitajima y J. Kanno
2008 “Induction of Mesothelioma in p53 +/- Mouse by Intra-peritoneal Application of Multi-wall Carbon Nanotube”, *The Journal of Toxicological Sciences*, núm. 33, pp. 105-116.
- Takeda, K; K. Suzuki, A. Ishihara, M. Kubo Irie, R. Fujimoto,
M. Tabata, S. Oshio, Y. Nihai, T. Ihara y M. Sugamata
2009 “Nanoparticles Transferred from Pregnant Mice to Their Offspring Can Damage the Genital and Cranial Nerve Systems”, *Journal of Health Sciences*, vol. 55, núm. 1, pp. 95-102.
- Tinkle, S. S., J. M. Antonini, B. A. Rich, J. R. Robert,
R. Salmen, K. DePree y E. J. Adkins
2003 “Skin as a Route of Exposure and Sensitization in Chronic Beryllium Disease”, *Environmental Health Perspective*, vol. 111, núm. 9, pp. 1202-1208.
- Trouiller, B.; R. Reliene, A. Westbrook, P. Solaimani y R. Schiestl
2009 “Titanium Dioxide Nanoparticles Induce DNA Damage and Genetic Instability *in vivo* in Mice”, *Journal of Cancer Research*, vol. 69, núm. 22, pp. 8784-8789.

UITA (Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agrícolas, Hoteles, Restaurantes, Tabaco y Afines)

2007 “The IUF Resolution”, en www.reluita.org/nanotecnologia/resolucion_uita_nano_eng.htm; consultado el 20 de marzo de 2007.

Wolfe, Josh

2005 “Nanotech vs. The Green Gang”, *Newsletters Forbes.com*, en www.forbes.com/2005/04/06/cz_jw_0406_soapbox_inl_print.html; consultado el 7 de mayo de 2007.

World Economic Forum

2010 *Global Risks 2010*, en www.weforum.org/en/initiatives/globalrisk/Reports/index.htm; consultado el 2 de mayo de 2010.

Yang, Wenjam, Cenchao Chen, Qia Ji, Honjjie An, Jinju Wang, Quirgdai Liu y Zhizhov Zhang

2009 “Food Storage Material Silver Mono Partial Interfere With DNA Replication Fidelity and Bind with DNA”, *Nanotechnology*, núm 20.